

明 細 書

SOIウェーハおよびその製造方法

技術分野

- [0001] この発明はSOIウェーハおよびその製造方法、詳しくは活性層の金属不純物による汚染度の低減が図れ、支持用ウェーハのスリップ発生を抑制するに十分な機械的強度を有し、薄膜の活性層のLPD評価の精度の向上が図れるスマートカット法を利用したSOIウェーハを安価に製造する技術に関する。

背景技術

- [0002] 近年、デバイスの高集積化などに伴い、活性層の薄膜化(0.05 μm 未満)が進んでいる。これを実現するSOI(Silicon On Insulator)構造を有した半導体基板を製造する方法として、特許文献1に記載されたスマートカット法が開発されている。

これは、酸化膜が形成され、水素を所定深さ位置にイオン注入した活性層用ウェーハを用い、この活性層用ウェーハと支持用ウェーハとを室温で貼り合わせ、その後、得られた貼り合わせウェーハを熱処理炉に挿入して500℃、30分間熱処理し、そのイオン注入領域から活性層用ウェーハの一部を剥離し、続いて貼り合わせウェーハに貼り合わせ強度を増強する貼り合わせ熱処理を施す方法である。これにより、支持用ウェーハと活性層との間に埋め込みシリコン酸化膜を介在した貼り合わせSOI基板が得られる。貼り合わせ熱処理では、酸素を雰囲気ガスとする1100℃、2時間の熱処理が施される。

- [0003] ところで、活性層用ウェーハおよび活性層には、水素イオン注入工程および貼り合わせ熱処理などの高温プロセスにより若干量の金属不純物が混入する。金属不純物のうちCu、Feなどは、貼り合わせ後の熱処理時に埋め込みシリコン酸化膜を透過し、支持用ウェーハ内まで拡散される。この現象を応用し、支持用ウェーハにおいて金属不純物を捕獲する、例えば特許文献1に記載されたIG(Intrinsic Gettering)法が知られている。

この特許文献1では、支持用ウェーハとして比抵抗10 Ωcm 、酸素濃度 $1 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ のn型のシリコンウェーハを採用している。このウェーハをアニールすること

により、酸素析出物を形成し、この酸素析出物をゲッタリングサイトとし、埋め込みシリコン酸化膜を透過したCu、Feなどの金属不純物を支持用ウェーハ内で捕獲する。その結果、活性層の金属不純物の汚染度を低減することができる。

[0004] 特許文献1: 日本国特開平9-326396号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0005] しかしながら、酸素濃度 1×10^{18} atoms/cm³程度からの酸素析出物をゲッタリングサイトとした支持用ウェーハでは、活性層用ウェーハまたは活性層の金属不純物を捕獲するには不十分であった。

また、貼り合わせ熱処理時には、1100℃という高温で熱処理される。そのため、支持用ウェーハの支持側の面(ボートなどとの接触面)にスリップが発生し易かった。これを改善するために、貼り合わせウェーハを、セラミックス製の環状のサセプタ、または、環状のウェーハ保持部を有するウェーハボートなどのウェーハ支持治具により支持する方法が用いられているが、コスト的な問題があった。

[0006] さらに、近年では、活性層の厚さが0.10 μm未満(例えば0.02-0.05 μm)、埋め込みシリコン酸化膜が0.15 μm程度まで薄膜化している。そのため、表面検査装置によりLPD(Light Point Defect)を評価する際において、マイクロボイドを疑似欠陥として検出するおそれがあった。ここでいうマイクロボイドとは、シリコン酸化膜と支持用ウェーハとの間に存在する微細な空隙(露出したCOPなど)を意味する。このように、マイクロボイドを疑似欠陥として検出するのは、測定用のレーザ光が薄膜の活性層と埋め込みシリコン酸化膜とを透過するためである。その結果、LPD評価の信頼性が低下していた。

[0007] このような疑似欠陥の問題を解消するため、例えば日本国特開平2-267195号公報に記載されたCOPが存在しないシリコンウェーハを支持用ウェーハとして利用することが考えられる。

日本国特開平2-267195号公報に記載の方法では、CZ法における引き上げ速度を0.8mm/min以下としてシリコン単結晶インゴットを育成する。シリコンを低速で引き上げ、育成し、さらに引き上げ炉内の温度環境を最適化することにより、シリ

コン単結晶インゴット中にCOPが析出されない。このCOPが存在しないシリコンウェーハを支持用ウェーハに用いれば、上記マイクロボイドは発生しなくなる。

しかしながら、COPをなくすために、結晶中の空孔濃度が低くなり、逆に、空孔を必要とする酸素析出物が得にくいという問題が生じていた。

- [0008] この発明は、金属不純物による活性層の汚染が低減され、支持用ウェーハのスリップ発生も抑制することができるSOIウェーハおよびその製造方法を提供することを、その目的としている。

この発明は、スマートカット法を用いて安価に上記SOIウェーハを製造することができる方法を提供することを、その目的としている。

また、この発明は、薄膜の活性層のLPD評価の信頼性を高めることができるSOIウェーハおよびその製造方法を提供することを、その目的としている。

課題を解決するための手段

- [0009] 第1の発明は、活性層用ウェーハを絶縁膜を介して支持用ウェーハに貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハの活性層用ウェーハの一部を薄膜化してSOI層を形成することによりSOIウェーハを製造するSOIウェーハの製造方法であって、上記支持用ウェーハは、その全面に酸化誘起積層欠陥(OSF)を有するSOIウェーハの製造方法である。

第2の発明は、第1の発明にあつて、上記支持用ウェーハは、 $1 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^3$ 〜 $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ の窒素濃度を有するとともに、 $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ (old ASTM)以上の酸素濃度を有するSOIウェーハの製造方法である。

- [0010] 第1の発明および第2の発明によれば、活性層用ウェーハまたは活性層に含まれる金属不純物のうち、外方拡散したCu、Feなどが、支持用ウェーハ中の酸素析出物(BMD; Bulk Micro Defects)またはそれに起因した酸素誘起積層欠陥(OSF; Oxidation Induced Stacking Fault)に捕獲される。

ウェーハ全面にOSFが発生する結晶は、引き上げ時の温度勾配および引き上げ速度を制御することにより得られる。

また、支持用ウェーハに存在し、埋め込み絶縁膜を透過して活性層用ウェーハまたは活性層に移動したCu、Feなども、同様にCOPまたはOSF(以下、欠陥)に捕獲さ

れる。もちろん、支持用ウェーハ中の他の金属不純物もこの欠陥に捕獲される。その結果、活性層の金属不純物による汚染度の低減を図ることができる。

[0011] また、支持用ウェーハ中には酸素と窒素とがそれぞれ高濃度に存在する。具体的には、酸素がold ASTMによる測定で $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上、窒素が結晶引き上げ時にシリコン窒化物を所定量添加し、偏析係数より計算された値が $1 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^3 \sim 3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ である。酸素と窒素とがこれらの分量含有されると、さらに引き上げ条件を最適化するには、ウェーハ全面にOSFを発生させることで、支持用ウェーハ中の欠陥密度は $1 \times 10^9 / \text{cm}^3$ 以上となる。その結果、支持用ウェーハの機械的強度が高まり、熱処理時の支持用ウェーハのスリップ発生を防止することができる。支持用ウェーハのスリップ発生防止効果は、直径が300mmを超える貼り合わせウェーハにおいて重要視される。

[0012] 活性層用ウェーハおよび支持用ウェーハの種類としては、例えば単結晶シリコンウェーハ、ゲルマニウムウェーハ、SiCウェーハを採用することができる。

絶縁膜としては、例えば酸化膜、窒化膜などを採用することができる。

絶縁膜の厚さは、例えば $1.0 \mu\text{m}$ 未満、好ましくは $0.1 \sim 0.2 \mu\text{m}$ である。

活性層の厚さは限定されない。例えば、厚膜の活性層では $1 \sim 10 \mu\text{m}$ である。また、薄膜の活性層では $0.01 \sim 1 \mu\text{m}$ である。

支持用ウェーハの窒素濃度が $1 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^3$ 未満では、十分な酸素析出物またはそれに付随するOSFが発生しない。また、 $3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ を超えると窒素の固溶限界を超え、無転位結晶を引き上げることができない。窒素の好ましい濃度は $2 \times 10^{14} \sim 1 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ である。

支持用ウェーハの酸素濃度が $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 未満では、十分な酸素析出物またはそれに付随するOSFが発生しない。また、ウェーハ全面にOSFを発生させる引き上げ条件として、CZ法における固液界面近傍の温度勾配(G)と引き上げ速度(V)との関係は、 V/G 値が $0.2 \sim 0.3 \text{ mm}^2 / ^\circ\text{C} \cdot \text{min}$ 程度となる。酸素の好ましい濃度は $13 \times 10^{17} \sim 15 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ である。old ASTMとは、シリコン中の酸素濃度の定義の一つであり、FT-IRスペクトルから酸素濃度に返還するための一つの手法である。

[0013] 第3の発明は、活性層用ウェーハを絶縁膜を介して支持用ウェーハに貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハの活性層用ウェーハの一部を薄膜化してSOI層を形成することによりSOIウェーハを製造するSOIウェーハの製造方法であって、上記支持用ウェーハは、 $16 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ (old ASTM) 以上の酸素濃度を有するSOIウェーハの製造方法である。

[0014] 第3の発明によれば、活性層用ウェーハまたは活性層に含まれる金属不純物のうち、拡散により埋め込み絶縁膜を透過したCu、Feなどは、支持用ウェーハ中のBMDまたはOSFなどの欠陥に捕獲される。また、支持用ウェーハに存在するCu、Feを含む金属不純物も、同様に欠陥に捕獲される。その結果、最終的に活性層の金属不純物による汚染度の低減を図ることができる。

[0015] また、支持用ウェーハ中には、 $16 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上の高濃度の酸素が存在する。酸素がこの分量含有されると、窒素を添加しなくても支持用ウェーハ中の欠陥密度は $1 \times 10^9 / \text{cm}^3$ 以上となる。また、酸素濃度が $16 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上となると、全面にOSFを発生させるような引き上げ条件を選択しなくても、BMD密度がスリップ発生を抑制するために十分な値となる。その結果、支持用ウェーハの機械的強度が高まり、熱処理時の支持用ウェーハのスリップ発生を防止することができる。

しかも、この発明に係る貼り合わせウェーハは、支持用ウェーハ用のインゴットの引き上げ時、結晶中に酸素を $16 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上含ませるだけで得られる。その結果、上記効果を有する貼り合わせウェーハを低コストで製造することができる。

[0016] 支持用ウェーハの酸素濃度が、old ASTMによる測定で $16 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 未満では十分なBMDまたはOSFが得られない。酸素の好ましい濃度は $17 \times 10^{17} \sim 20 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ である。

[0017] 第4の発明は、第1の発明にあつて、上記活性層用ウェーハに水素ガスまたは希ガスをイオン注入して、この活性層用ウェーハにイオン注入層を形成し、次いで、上記活性層用ウェーハおよび上記支持ウェーハを貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハを所定温度に保持して熱処理することにより、イオン注入層を境界として剥離するSOIウェーハの製造方法である。

第5の発明は、第2の発明にあつて、上記活性層用ウェーハに水素ガスまたは希ガ

ス元素をイオン注入して、この活性層用ウェーハにイオン注入層を形成し、次いで、上記活性層用ウェーハおよび上記支持ウェーハを貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハを所定温度に保持して熱処理することにより、イオン注入層を境界として剥離するSOIウェーハの製造方法である。

第6の発明は、第3の発明にあつて、上記活性層用ウェーハに水素ガスまたは希ガス元素をイオン注入して、この活性層用ウェーハにイオン注入層を形成し、次いで、上記活性層用ウェーハおよび上記支持ウェーハを貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハを所定温度に保持して熱処理することにより、イオン注入層を境界として剥離するSOIウェーハの製造方法である。

[0018] イオン注入する軽元素としては、例えば水素(H)の他、希ガスの元素であるヘリウム(He)、ネオン(Ne)、アルゴン(Ar)、クリプトン(Kr)、キセノン(Xe)、ラドン(Rn)などでもよい。これらは単体または化合物でもよい。

イオン注入時の軽元素のドーズ量は限定されない。例えば $2 \times 10^{16} \sim 8 \times 10^{16}$ atoms/cm²である。

軽元素のイオン注入時の加速電圧は、50keV以下、好ましくは30keV以下、さらに好ましくは20keV以下である。軽元素のイオン注入は、低加速電圧ほど目標深さに軽元素を集中させることができ、薄膜SOIの作製については、剥離後の取り代が少なくなり、面内の厚さバラツキの向上に有利である。

剥離時の貼り合わせウェーハの加熱温度は400℃以上、好ましくは400～700℃、さらに好ましくは450～550℃である。400℃未満では、活性層用ウェーハにイオン注入された軽元素から軽元素バブルを形成することが難しい。また、700℃を超えると、活性層内に酸素析出物が形成されてしまい、そのデバイス特性の低下を招くおそれがある。

[0019] 剥離時の炉内雰囲気は、非酸化性ガス(窒素、アルゴンなどの不活性ガス)の雰囲気でもよい。また、真空中でもよい。

剥離時の貼り合わせウェーハの加熱時間は1分間以上、好ましくは10～60分間である。1分間未満では、貼り合わせウェーハにイオン注入された軽元素をバブル化することが困難になる。

剥離工程後、活性層用ウェーハと支持用ウェーハとの貼り合わせ熱処理の強度を高める貼り合わせ熱処理を施してもよい。この際の加熱温度は、例えば1100℃、2時間である。熱酸化炉内の雰囲気ガスとしては、酸素などを採用することができる。

[0020] 第7の発明は、第1の発明にあつて、上記SOI層の厚みを、0.10 μ m未満としたSOIウェーハの製造方法である。

第8の発明は、第2の発明にあつて、上記SOI層の厚みを、0.10 μ m未満としたSOIウェーハの製造方法である。

第9の発明は、第3の発明にあつて、上記SOI層の厚みを、0.10 μ m未満としたSOIウェーハの製造方法である。

第10の発明は、第4の発明にあつて、上記SOI層の厚みを、0.10 μ m未満としたSOIウェーハの製造方法である。

第11の発明は、第5の発明にあつて、上記SOI層の厚みを、0.10 μ m未満としたSOIウェーハの製造方法である。

第12の発明は、第6の発明にあつて、上記SOI層の厚みを、0.10 μ m未満としたSOIウェーハの製造方法である。

[0021] 第7～第12の発明によれば、活性層と埋め込みシリコン酸化膜とが、LPD評価用のレーザ光をそれぞれ透過する0.10 μ m未満のSOI層の厚みにまで薄膜化されていても、LPD評価時に埋め込み絶縁膜と支持用ウェーハとの間に存在するマイクロボイドを疑似欠陥として検出することがない。その結果、活性層のLPD評価の信頼性を高めることができる。

[0022] 第13の発明は、第1～第12の発明のいずれかにあつて、上記貼り合わせの前に、還元ガス雰囲気、上記支持用ウェーハに対して1100～1250℃、5分以上のラピッドサーマルプロセス処理、または、1050～1250℃、1時間以上の高温熱処理を施すSOIウェーハの製造方法である。

[0023] 第13の発明によれば、貼り合わせの前に、還元ガス雰囲気、支持用ウェーハに対して1100～1250℃、5分以上のラピッドサーマルプロセス処理を施す。または、1050～1250℃、1時間以上の高温熱処理を施す。これにより、支持用ウェーハの表裏両面付近に存在する酸素の外方拡散が促進され、そのウェーハ表裏両面から

酸素が外方拡散する。よって、ウェーハ表面近傍に存在するCOP内面の酸化膜(内壁酸化膜)が未飽和になって溶解し、内壁酸化膜が消失したCOPは、周辺に存在する格子間シリコンによって埋められ、COPが消滅する。その結果、例えば活性層と埋め込み絶縁膜とが、LPD評価用のレーザ光をそれぞれ透過する程度まで薄膜化されても、LPD評価時に埋め込み絶縁膜と支持用ウェーハとの間に存在するマイクロボイド(COP)を疑似欠陥として検出することがない。よって、活性層のLPD評価の信頼性を高めることができる。

- [0024] ラピッドサーマルプロセス処理の時期は、活性層用ウェーハと支持用ウェーハの貼り合わせ前であれば限定されない。

ラピッドサーマルプロセスとは、スループットなどを高めるため、急速にウェーハの温度を上昇、下降する操作または工程をいう。

還元ガスとしては、例えば水素ガス、アルゴンガス、窒素ガスまたはその混合ガスなどを採用することができる。

- [0025] ラピッドサーマルプロセスにおいて、支持用ウェーハの温度が1100℃未満では表面のCOPが消滅しない。また、支持用ウェーハの温度が1250℃を超えるとスリップが発生する。ラピッドサーマルプロセスにおける好ましい支持用ウェーハの温度は、1100〜1150℃である。

ラピッドサーマルプロセスでの加熱時間が5分間未満でも、表面層のCOPが消滅しない。支持用ウェーハの好ましい加熱時間は5〜10分間である。また、ラピッドサーマルプロセスにより高温から急冷する過程において酸素析出に必要な空孔がウェーハ全面から内部に注入されるため析出に有利に働く。

- [0026] 高温熱処理の時期は、活性層用ウェーハと支持用ウェーハとの貼り合わせ前であれば限定されない。

高温熱処理時に使用される還元ガスは、ラピッドサーマルプロセスと同じ還元ガスを使用することができる。

高温熱処理において、支持用ウェーハの温度が1050℃未満では表面のCOPが消滅しない。また、支持用ウェーハの温度が1250℃を超えるとスリップが発生する。ここでの好ましい支持用ウェーハの温度は、1100〜1200℃である。

高温熱処理での加熱時間が1時間未満では表面層のCOPが消滅しにくく、特に1050〜1100℃では困難となる。支持用ウェーハの好ましい加熱時間は1〜2時間である。

[0027] 第14の発明は、活性層用ウェーハを絶縁膜を介して支持用ウェーハに貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハの活性層用ウェーハの一部を薄膜化してSOI層を形成することにより製造するSOIウェーハであって、貼り合わされた上記支持用ウェーハには、その全面に酸化誘起積層欠陥(OSF)を有し、上記SOI層は、厚みが0.10 μm 未満であるSOIウェーハである。

[0028] 第15の発明は、第14の発明にあつて、上記支持用ウェーハは、窒素濃度が $1 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^3 \sim 3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ で、かつ、酸素濃度が $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ (old ASTM)以上であるSOIウェーハである。

[0029] 第16の発明は、活性層用ウェーハを絶縁膜を介して支持用ウェーハに貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハの活性層用ウェーハの一部を薄膜化してSOI層を形成することにより製造するSOIウェーハであつて、貼り合わされた上記支持用ウェーハには、酸素濃度が $16 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ (old ASTM)以上含まれ、上記SOI層は、厚みを0.10 μm 未満としたSOIウェーハである。

発明の効果

[0030] この発明によれば、支持用ウェーハに酸素がold ASTMで $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上、窒素が $1 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^3 \sim 3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ 含まれている。または、支持用ウェーハに酸素が $16 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ 以上含まれている。酸素等がこれらの分量含有されると、支持用ウェーハ中の欠陥密度は $1 \times 10^9 / \text{cm}^3$ 以上となる。そのため、支持用ウェーハの機械的強度が高まり、熱処理時の支持用ウェーハのスリップ発生を防止することができる。

[0031] しかも、貼り合わせ後の熱処理時、活性層用ウェーハまたは活性層に含まれる金属不純物のうち、拡散により埋め込み絶縁膜を透過可能なFe、Cuと、支持用ウェーハ中の金属不純物とが、ゲッターリングサイトとなる支持用ウェーハ中のCOPまたはOSFといった欠陥に捕獲される。その結果、最終的に活性層の金属不純物による汚染度

を低減させることができる。

さらに、このような効果を有する貼り合わせウェーハは、支持用ウェーハ用のインゴットの引き上げ時、結晶中に所定量の窒素と酸素、または、酸素を含ませれば得られる。そのため、上記効果を有する貼り合わせウェーハを低コストで製造することができる。

[0032] さらに、支持用ウェーハに結晶欠陥が存在しないので、活性層と埋め込みシリコン酸化膜とが薄膜化されても、LPD評価時に埋め込み絶縁膜と支持用ウェーハとの間に存在するマイクロボイドを疑似欠陥として検出せず、活性層のLPD評価の信頼性が高まる。

[0033] さらに、貼り合わせの前に、還元ガス雰囲気、支持用ウェーハに対して1100〜1250℃、5分間以上のラピッドサーマルプロセス処理、または、1050〜1250℃、1時間以上の高温熱処理を施す。これにより、支持用ウェーハの表裏両面付近に存在する酸素が外方拡散する。その結果、例えば活性層と埋め込みシリコン酸化膜とが、LPD評価用のレーザ光をそれぞれ透過する程度まで薄膜化されても、LPD評価時にマイクロボイドを疑似欠陥として検出することがない。その結果、活性層のLPD評価の信頼性を高めることができる。

図面の簡単な説明

[0034] [図1]この発明の実施例1に係るSOIウェーハの製造方法を示すフローシートである。

[図2]この発明の実施例1に係るSOIウェーハの製造方法により得られた貼り合わせウェーハのLPD評価試験中を示す要部拡大断面図である。

[図3]従来手段に係るSOIウェーハの製造方法により得られた貼り合わせウェーハのLPD評価試験中を示す要部拡大断面図である。

符号の説明

- [0035] 10 活性層用ウェーハ、
12a シリコン酸化膜(絶縁膜)、
12b 埋め込みシリコン酸化膜、
13 活性層、
14 水素イオン注入領域(イオン注入領域)、

20 支持用ウェーハ、

30 貼り合わせウェーハ。

発明を実施するための最良の形態

[0036] 以下、この発明の実施例を図面を参照して説明する。

実施例 1

[0037] まず、図1のS101工程に示すように、ボロンが所定量ドーピングされたp型のシリコン単結晶インゴットをCZ法により引き上げる。引き上げ速度は、1.0mm/minである。その後、シリコン単結晶インゴットに、ブロック切断、スライス、面取り、鏡面研磨などを施す。これにより、厚さ725 μ m、直径200mm、面方位(100)面、比抵抗1~10 Ω cm、p型の鏡面仕上げされた活性層用ウェーハ10が得られる。

一方、図1のS111工程に示すように、所定量のボロンと窒素がドーピングされたp型のシリコン単結晶インゴットをCZ法により引き上げる。引き上げ速度(V)および温度勾配(G)を制御して全面OSF領域となるように引き上げる。この場合、Vは0.5mm/minである。窒素濃度は結晶引き上げ時の仕込み量として 2×10^{14} atoms/cm³、格子間酸素原子濃度O_iは 13×10^{17} atoms/cm³である。その後、シリコン単結晶インゴットに、ブロック切断、スライス、面取り、鏡面研磨などを施す。これにより、厚さ725 μ m、直径200mm、面方位(100)面、比抵抗1~10 Ω cm、p型の鏡面仕上げされた支持用ウェーハ20が得られる。

[0038] その後、図1のS112工程に示すように、支持用ウェーハ20のうち、任意の数枚を酸化熱処理装置に挿入し、1000℃、16時間の酸化熱処理を施す。続いて、熱処理された支持用ウェーハ20に対し、ライトエッチング法により2 μ mエッチングした後、光学顕微鏡でBMDおよびOSFを測定し、ウェーハ表面の全域で 1×10^9 /cm³を超えるOSFが存在することを確認する。

次に、図1のS113工程に示すように、支持用ウェーハ20を、熱源にランプ加熱を採用したRTP装置に挿入し、アルゴンガス雰囲気中で1150℃、5分間のラピッドサーマルプロセスを施す。これにより、支持用ウェーハ20の表裏両面付近のOSFが外方拡散して消失し、その消失部分に深さ約0.1~0.3 μ mの結晶欠陥が存在しない層が形成される。

[0039] 次いで、図1のS102工程に示すように、活性層用ウェーハ10を熱酸化装置に挿入し、酸素ガス雰囲気中で熱酸化処理を施す。これにより、活性層用ウェーハ10の露出面の全域に、厚さ $0.15\mu\text{m}$ のシリコン酸化膜12aが形成される。熱処理条件は 1000°C 、7時間である。

次に、図1のS103工程に示すように、活性層用ウェーハ10の鏡面仕上げされた表面から所定深さ位置に、中電流イオン注入装置を使用し、 50keV の加速電圧で水素をイオン注入する。これにより、活性層用ウェーハ10に、水素イオン注入領域14が形成される。このときのドーズ量は、 $5\times 10^{16}\text{atoms}/\text{cm}^2$ である。

[0040] 続いて、図1のS104工程に示すように、活性層用ウェーハ10の表面と支持用ウェーハ20の鏡面とを貼り合わせ面(重ね合わせ面)とし、シリコン酸化膜12aを介して、例えば真空装置内で公知の治具により、両ウェーハ10、20を貼り合わせて貼り合わせウェーハ30を作製する。このとき、活性層用ウェーハ10と支持用ウェーハ20とが、シリコン酸化膜12aを介して接合され、この接合部分のシリコン酸化膜12aが埋め込みシリコン酸化膜(絶縁膜)12bとなる。

[0041] それから、図1のS105工程に示すように、貼り合わせウェーハ30を図示しない剥離熱処理装置に挿入し、 500°C の炉内温度、窒素ガスの雰囲気中で熱処理する。熱処理時間は30分間である。この熱処理により、支持用ウェーハ20の貼り合わせ界面に活性層13を残し、活性層用ウェーハ10が水素イオン注入領域14から剥離される。

剥離後、図1のS106工程に示すように、貼り合わせウェーハ30に対して、窒素ガスの雰囲気中で 1150°C 、2時間の貼り合わせ熱処理を施す。これにより、活性層用ウェーハ10と支持用ウェーハ20との貼り合わせ強度が増強される。

次いで、図1のS107工程に示すように、活性層13の表面に研磨装置による研磨、犠牲酸化によりSOI表面の平坦化、薄膜化を施す。こうして、スマートカット法を利用し、厚さが約 $0.1\mu\text{m}$ の活性層13を有した貼り合わせSOI基板(貼り合わせウェーハ)が作製される。

[0042] このように、支持用ウェーハ20用のシリコン単結晶インゴットの引き上げ時、結晶中には窒素が $2\times 10^{14}\text{atoms}/\text{cm}^3$ 含まれ、格子間酸素原子濃度 O_i は $13\times 10^{17}/\text{cm}^3$ としている。そのため、ウェーハ表面の全域で $1\times 10^9/\text{cm}^3$ を超えるBMDまたは

それに伴うOSF欠陥が発生する。ウェーハ表面の全域にOSF欠陥が存在すると、支持用ウェーハ20中の欠陥密度は 1×10^9 個/cm³以上となる。これにより、支持用ウェーハ20の機械的な強度が高まり、熱処理時の支持用ウェーハ20のスリップを防止することができる。

[0043] 貼り合わせ後の熱処理時には、活性層用ウェーハ10または活性層13に含まれる金属不純物のうち、拡散により埋め込みシリコン酸化膜12bを透過可能なCu、Feの他、支持用ウェーハ20中の金属不純物も、BMDまたはOSFに捕獲される。このように、支持用ウェーハ20の全面にはゲッタリングサイトとなるOSFが多量に存在する。そのため、活性層用ウェーハ10または活性層13中の金属不純物、加えて支持用ウェーハ20中の金属不純物も十分に捕獲することができる。その結果、活性層13の金属不純物による汚染度の低減を図ることができる。

[0044] また、図2に示すように、支持用ウェーハ20の貼り合わせ界面付近には、ラピッドサーマルプロセス処理により結晶欠陥が存在しない。したがって、活性層13と埋め込みシリコン酸化膜12bとが、LPD評価用のレーザ光をそれぞれ透過する程度まで薄膜化されていても、従来のように埋め込みシリコン酸化膜12bと支持用ウェーハ20との間に、マイクロボイド40が形成されることはない。そのため、LPD評価時において、図3に示すように、マイクロボイド40を疑似欠陥として検出することがない。その結果、活性層13のLPD評価の信頼性を高めることができる。

さらに、このような効果を有する貼り合わせSOI基板は、支持用ウェーハ20用のインゴットの引き上げ時、結晶中に 1×10^{14} atoms/cm³の窒素と、 13×10^{17} atoms/cm³の酸素とを含ませれば得られるので、上記効果を有する貼り合わせSOI基板を低コストで製造することができる。

実施例 2

[0045] 次に、この発明の実施例2に係る貼り合わせウェーハの製造方法を説明する。

この実施例2は、CZ法によるシリコン単結晶インゴットの引き上げ時において、窒素が添加されず、結晶中に格子間酸素原子濃度 O_i だけを 18×10^{17} atoms/cm³とした例である。

引き上げ後、支持用ウェーハ20はアニール装置に挿入され、アルゴンガス雰囲気

で1150℃、2時間の熱処理が施される。これにより、支持用ウェーハ20の表裏両面付近のOSFが消失し、その消失部分に結晶欠陥が存在しない層が形成される。

その他の構成、作用、効果は、実施例1と略同じであるので説明を省略する。

[0046] ここで、実際に本発明法および従来法について、貼り合わせSOI基板における支持用ウェーハの裏面のスリップの有無と、活性層面内のLPDの分布とについて、比較調査した結果を報告する。なお、表中のスリップ発生の有無は、観察されるスリップ長が20mm未満を○とし、スリップ長20mm以上を×とした。また、RTPはラピッドサーマルプロセスを示し、ArANはアルゴンアニールを示す。

活性層の厚さは約0.1 μm 、埋め込みシリコン酸化膜12bの厚さは0.15 μm である。スリップの評価方法としては、X線トポグラフ(XRT)法を採用した。また、LPDの分布の評価としては、2 μm のライトエッチング(クロム酸エッチング)後、表面検査装置(テンコール社製SP-1)によりLPD密度を測定した。その結果を表1に示す。

[0047] [表1]

| | 支持用ウェーハ | 貼り合わせ 前熱処理 | 支持用ウェーハの スリップ発生の有無 | 活性層表面のLPD面内分布 | 支持用ウェーハ中の BMD、OSF密度 |
|------|--|---------------|-----------------------|---------------------------------------|--|
| 試験例1 | 全面OSFウェーハ | RTP | ○ | 特異な分布なし | $1 \times 10^9 / \text{cm}^3$ 以上 |
| 試験例2 | 全面OSFウェーハ | RTPなし | ○ | ウェーハ中心部に若干多く、 支持用ウェーハのCOP分布 と一致 | $1 \times 10^9 / \text{cm}^3$ 以上 |
| 試験例3 | 高酸素濃度ウェーハ $\text{O}_i = 1.8 \times 10^{17}$ | ArAN | ○ | 特異な分布なし | $1 \times 10^9 / \text{cm}^3$ 以上 |
| 試験例4 | 高酸素濃度ウェーハ $\text{O}_i = 1.8 \times 10^{17}$ | ArANなし | ○ | ウェーハ中心部に若干多く、 支持用ウェーハのCOP分布 と一致 | $1 \times 10^9 / \text{cm}^3$ 以上 |
| 比較例1 | 低酸素濃度ウェーハ $\text{O}_i = 1.4 \times 10^{17}$ | ArAN | × | 特異な分布なし | $1 \times 10^7 \sim 1 \times 10^8 / \text{cm}^3$ |
| 比較例2 | 低酸素濃度ウェーハ $\text{O}_i = 1.4 \times 10^{17}$ | ArANなし | × | ウェーハ中心部に若干多く、 支持用ウェーハのCOP分布 と一致 | $1 \times 10^7 \sim 1 \times 10^8 / \text{cm}^3$ |

[0048] 表1から明らかなように、試験例1〜4はいずれも支持用ウェーハ中のBMD (Bulk

Micro Defect)、OSFの密度が $1 \times 10^9 / \text{cm}^3$ 以上である。そのため、支持用ウェーハの裏面に20mm以上のスリップが発生せず、活性層面内のLPDも特異な分布はないか若干ウェーハ中心部に多い程度で、比較例1および比較例2 ($O_i = 14 \times 10^{17} \text{ atoms} / \text{cm}^3$) に比べて改善された。

なお、試験例1および試験例2に使用される支持用ウェーハは、シリコン単結晶インゴットの引き上げ時、結晶中に窒素を $2 \times 10^{14} \text{ atoms} / \text{cm}^3$ ドープし、かつ格子間酸素原子濃度 O_i を $14 \times 10^{17} \text{ atoms} / \text{cm}^3$ およびV/Gを調整したウェーハである。そのため、支持用ウェーハの全面にはOSFが多量に存在している。

請求の範囲

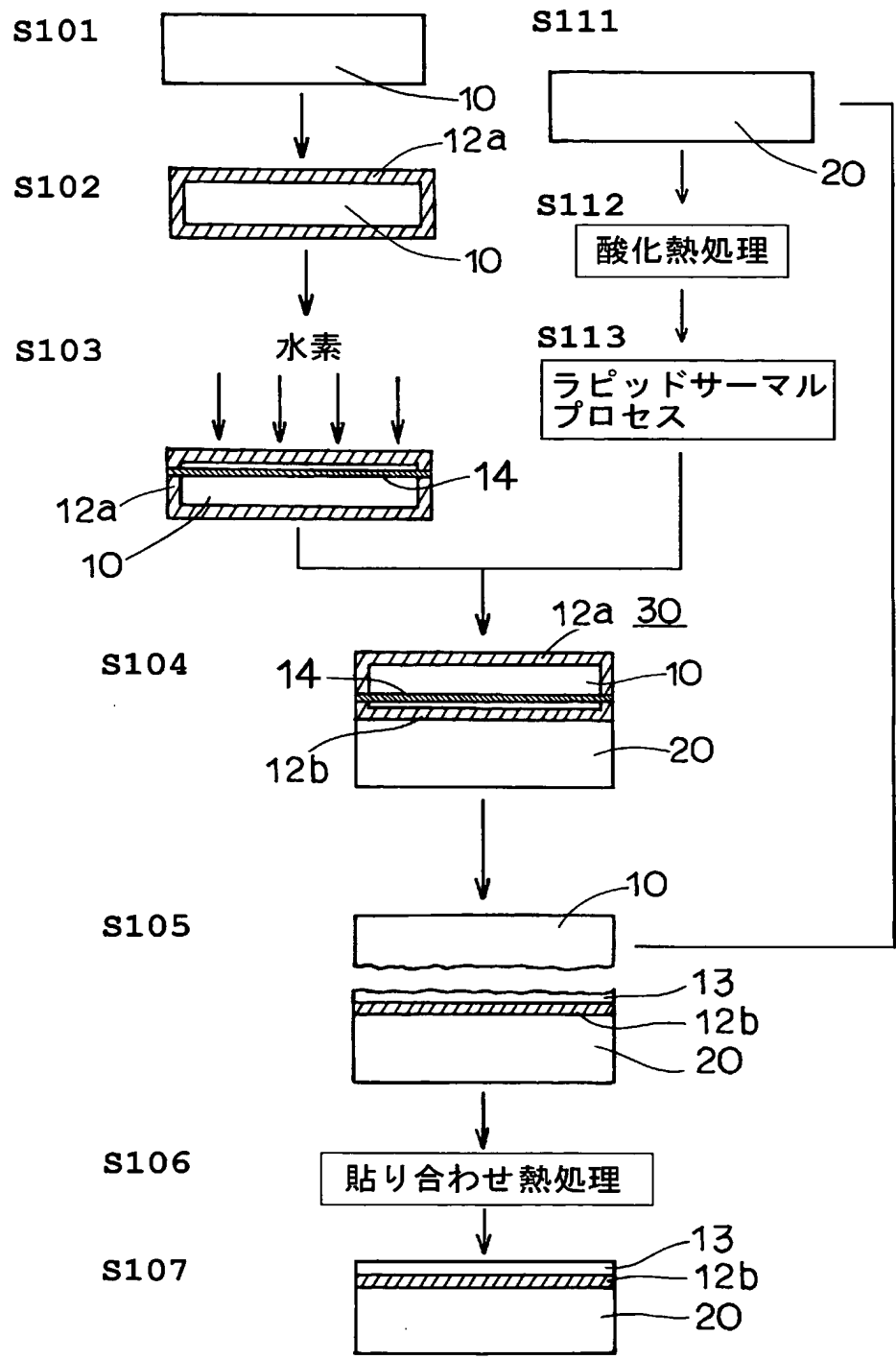
- [1] 活性層用ウェーハを絶縁膜を介して支持用ウェーハに貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハの活性層用ウェーハの一部を薄膜化してSOI層を形成することによりSOIウェーハを製造するSOIウェーハの製造方法であって、
- 上記支持用ウェーハは、その全面に酸化誘起積層欠陥(OSF)を有するSOIウェーハの製造方法。
- [2] 上記支持用ウェーハは、 $1 \times 10^{14} \text{ atoms/cm}^3 \sim 3 \times 10^{15} \text{ atoms/cm}^3$ の窒素濃度を有し、かつ $12 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ (old ASTM)以上の酸素濃度を有する請求項1に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [3] 活性層用ウェーハを絶縁膜を介して支持用ウェーハに貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハの活性層用ウェーハの一部を薄膜化してSOI層を形成することによりSOIウェーハを製造するSOIウェーハの製造方法であって、
- 上記支持用ウェーハは、 $16 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ (old ASTM)以上の酸素濃度を有するSOIウェーハの製造方法。
- [4] 上記活性層用ウェーハに水素ガスまたは希ガス元素をイオン注入して、この活性層用ウェーハにイオン注入層を形成し、次いで、上記活性層用ウェーハおよび上記支持用ウェーハを貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハを熱処理することにより、イオン注入層を境界として剥離する請求項1に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [5] 上記活性層用ウェーハに水素ガスまたは希ガス元素をイオン注入して、この活性層用ウェーハにイオン注入層を形成し、次いで、上記活性層用ウェーハおよび上記支持用ウェーハを貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハを熱処理することにより、イオン注入層を境界として剥離する請求項2に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [6] 上記活性層用ウェーハに水素ガスまたは希ガス元素をイオン注入して、この活性層用ウェーハにイオン注入層を形成し、次いで、上記活性層用ウェーハおよび上記支

持ウェーハを貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハを熱処理することにより、イオン注入層を境界として剥離する請求項3に記載のSOIウェーハの製造方法。

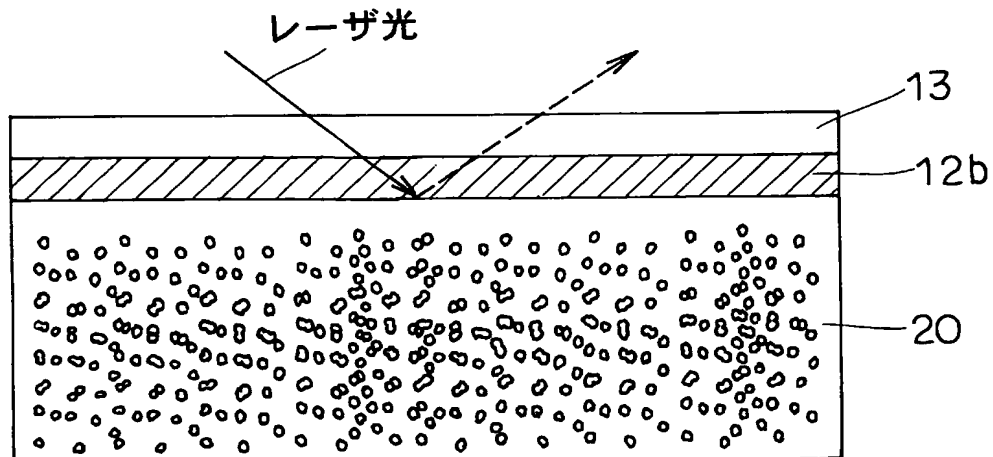
- [7] 上記SOI層の厚みは、 $0.10\mu\text{m}$ 未満である請求項1に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [8] 上記SOI層の厚みは、 $0.10\mu\text{m}$ 未満である請求項2に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [9] 上記SOI層の厚みは、 $0.10\mu\text{m}$ 未満である請求項3に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [10] 上記SOI層の厚みは、 $0.10\mu\text{m}$ 未満である請求項4に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [11] 上記SOI層の厚みは、 $0.10\mu\text{m}$ 未満である請求項5に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [12] 上記SOI層の厚みは、 $0.10\mu\text{m}$ 未満である請求項6に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [13] 上記貼り合わせの前に、還元ガス雰囲気、上記支持用ウェーハに対して $1100\sim 1250^{\circ}\text{C}$ 、5分間以上のラピッドサーマルプロセス処理、または、 $1050\sim 1250^{\circ}\text{C}$ 、1時間以上の高温熱処理を施す請求項1～請求項12のいずれか1項に記載のSOIウェーハの製造方法。
- [14] 活性層用ウェーハを絶縁膜を介して支持用ウェーハに貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハの活性層用ウェーハの一部を薄膜化してSOI層を形成することにより製造するSOIウェーハであって、
貼り合わされた上記支持用ウェーハは、その全面に酸化誘起積層欠陥(OSF)を有し、
上記SOI層の厚みが $0.10\mu\text{m}$ 未満であるSOIウェーハ。
- [15] 上記支持用ウェーハは、窒素濃度が $1\times 10^{14}\text{atoms}/\text{cm}^3\sim 3\times 10^{15}\text{atoms}/\text{cm}^3$ かつ酸素濃度が $12\times 10^{17}\text{atoms}/\text{cm}^3$ (old ASTM)以上有する請求項14に記載のSOIウェーハ。

- [16] 活性層用ウェーハを絶縁膜を介して支持用ウェーハに貼り合わせて貼り合わせウェーハを形成し、この後、この貼り合わせウェーハの活性層用ウェーハの一部を薄膜化してSOI層を形成することにより製造するSOIウェーハであって、
- 貼り合わされた上記支持用ウェーハには、酸素濃度が $16 \times 10^{17} \text{ atoms/cm}^3$ (old ASTM) 以上含まれ、
- 上記SOI層の厚みが $0.10 \mu\text{m}$ 未満であるSOIウェーハ。

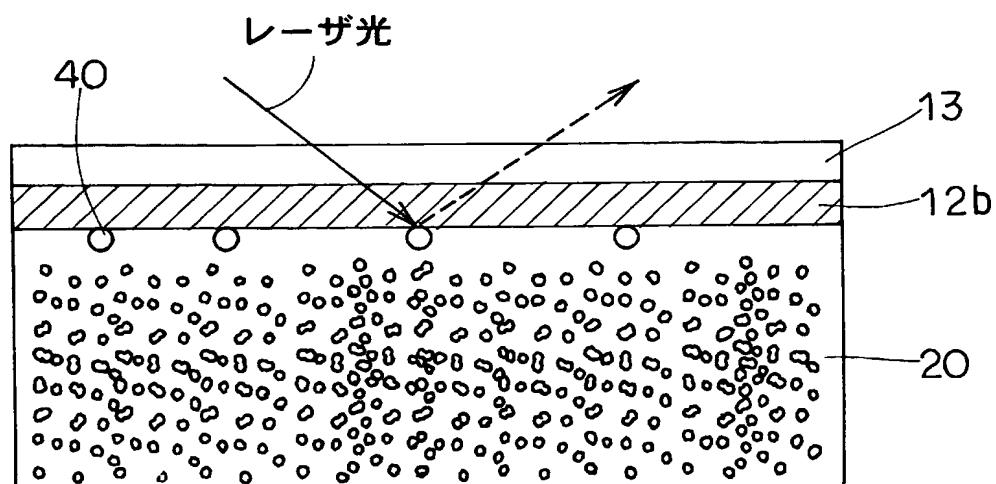
[図1]



[図2]



[図3]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/013070

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L21/02, H01L21/322, H01L27/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L21/02, H01L21/322, H01L27/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

| | | | |
|---------------------------|-----------|----------------------------|-----------|
| Jitsuyo Shinan Koho | 1922-1996 | Jitsuyo Shinan Toroku Koho | 1996-2004 |
| Kokai Jitsuyo Shinan Koho | 1971-2004 | Toroku Jitsuyo Shinan Koho | 1994-2004 |

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--|---|
| X A | JP 2000-31439 A (Fuji Electric Co., Ltd.), 28 January, 2000 (28.01.00), Full text; all drawings Full text; all drawings (Family: none) | 3, 6, 9, 12, 16 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13-15 |
| X A | JP 9-64319 A (Toshiba Corp.), 07 March, 1997 (07.03.97), Full text; all drawings Full text; all drawings (Family: none) | 3, 6, 9, 12, 13, 16 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 14, 15 |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
17 November, 2004 (17.11.04)

Date of mailing of the international search report
30 November, 2004 (30.11.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/013070

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|-----------|--|-----------------------|
| A | JP 2001-146498 A (Shin-Etsu Handotai Co., Ltd.), 29 May, 2001 (29.05.01), Full text; all drawings & WO 2001/036719 A1 & EP 1170405 A1 | 1-16 |

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. 7 H01L21/02, H01L21/322, H01L27/12

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. 7 H01L21/02, H01L21/322, H01L27/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
|-----------------|---|---|
| X A | JP 2000-31439 A(富士電機株式会社)2000. 01. 28, 全文、全図 全文、全図(ファミリーなし) | 3, 6, 9, 12, 16 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 13-15 |
| X A | JP 9-64319 A(株式会社東芝)1997. 03. 07, 全文、全図 全文、全図(ファミリーなし) | 3, 6, 9, 12, 13, 16 1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11, 14, 15 |

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

17. 11. 2004

国際調査報告の発送日

30.11.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)
 郵便番号 100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

綿引 隆

4M

2934

電話番号 03-3581-1101 内線 3460

| C (続き) . 関連すると認められる文献 | | |
|-----------------------|---|------------------|
| 引用文献の カテゴリー* | 引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示 | 関連する 請求の範囲の番号 |
| A | JP 2001-146498 A(信越半導体株式会社)2001. 05. 29, 全文、全図 & WO 2001/036719 A1 & EP 1170405 A1 | 1-16 |